



Seminar Tugas Akhir

FABRIKASI *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) BERSTRUKTUR *BILAYER* ANATASE TiO_2 DALAM RANGKAIAN SERI DAN PARALEL

Oleh :
Nur Abdillah Siddiq
NRP. 2411 100 081

Dosen Pembimbing :
Dr. Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT
Dyah Sawitri, ST, MT





Indonesia
= Garis katulistiwa

Terkena sinar matahari selama
10-12 jam dalam sehari
(Djoko Adi Widodo, 2009)

Potensi $1,2 \times 10^9$ MW
= 20 juta PLTP Unit IV Kamojang

Ditjen Listrik dan
Pengembangan Energi

Mengapa Sel Surya tidak populer digunakan di Indonesia?

Investasi mahal

DSSC → Mudah Fabrikasi dan Ekonomis

*Studi kasus petani tambak

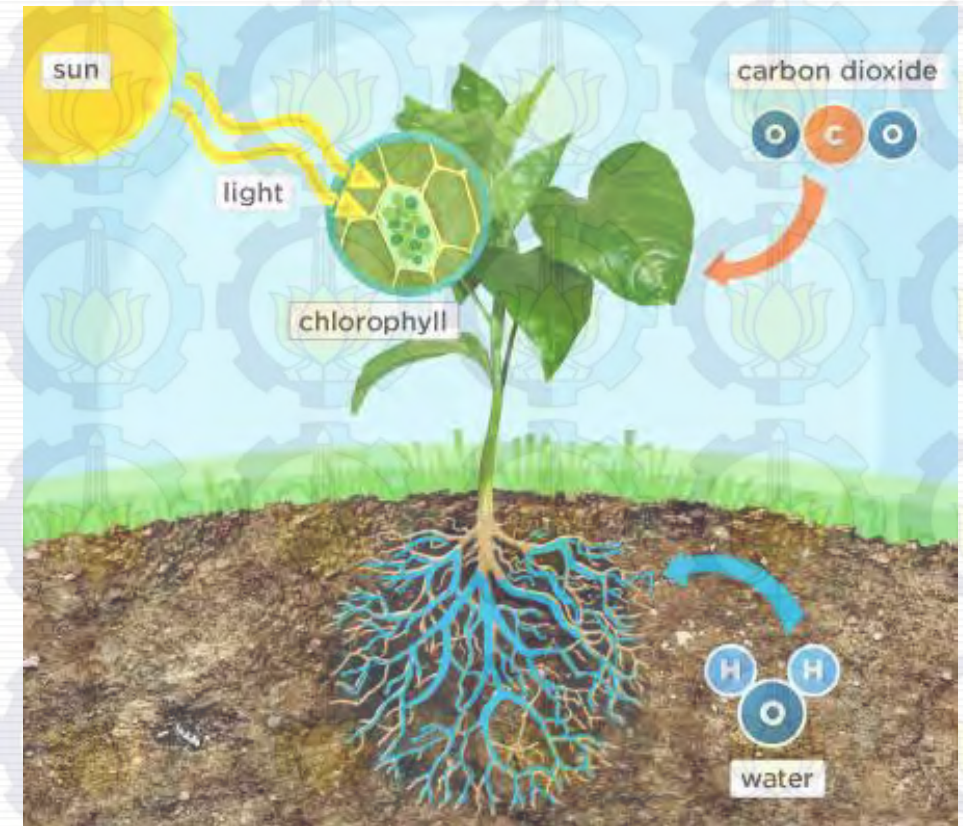
DSSC → M. Grätzel dan O'Regan (1991)
Terinspirasi dari proses fotosintesis

Dye = Klorofil → penghasil elektron
Semikonduktor Oksida = CO_2 → akseptor elektron
Larutan Elektrolit = Air → donor elektron
Kaca TCO = Daun → media
Prinsip kerja DSSC

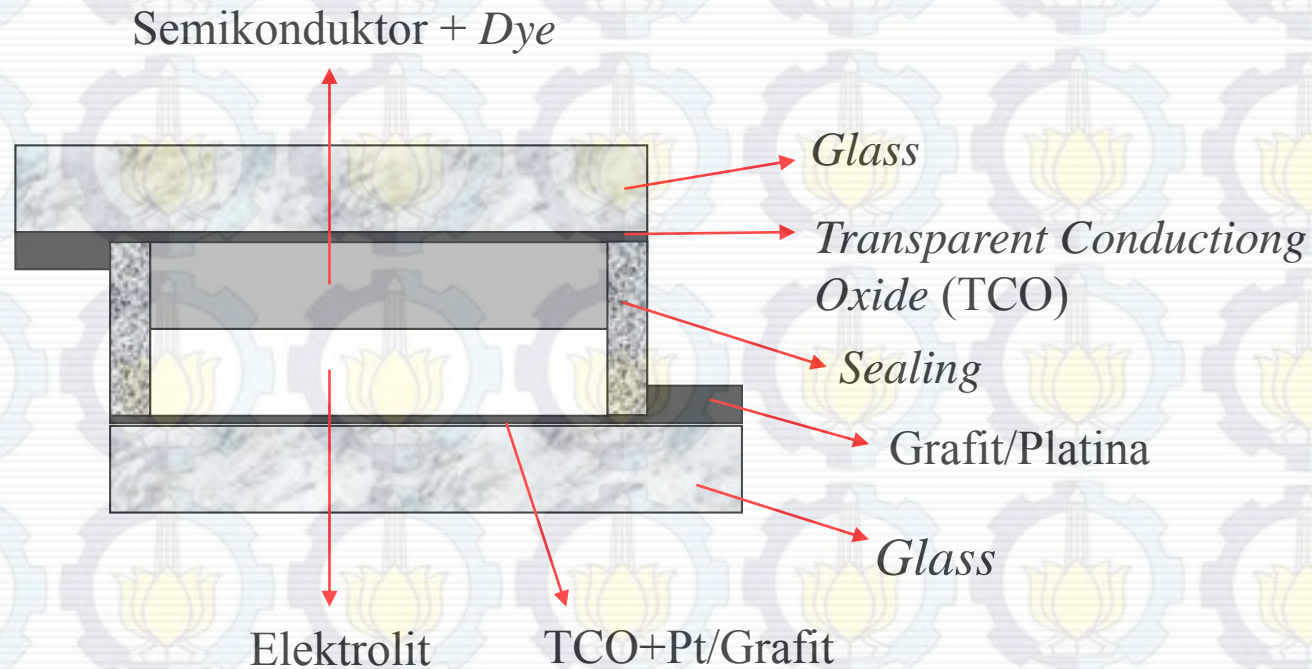


LATAR BELAKANG

Mekanisme fotosintesis



Struktur DSSC



Semikonduktor Oksida

TiO_2 , ZnO , SnO_2 , In_2O_3 , Nb_2O_3 ,

Keunggulan TiO_2

- Fotoreaktivitas tinggi
- *Bandgap* lebar (3.0 eV – 3.5 eV)
- Tidak beracun
- Stabil
- Harganya ekonomis

Efisiensi DSSC

Monolayer

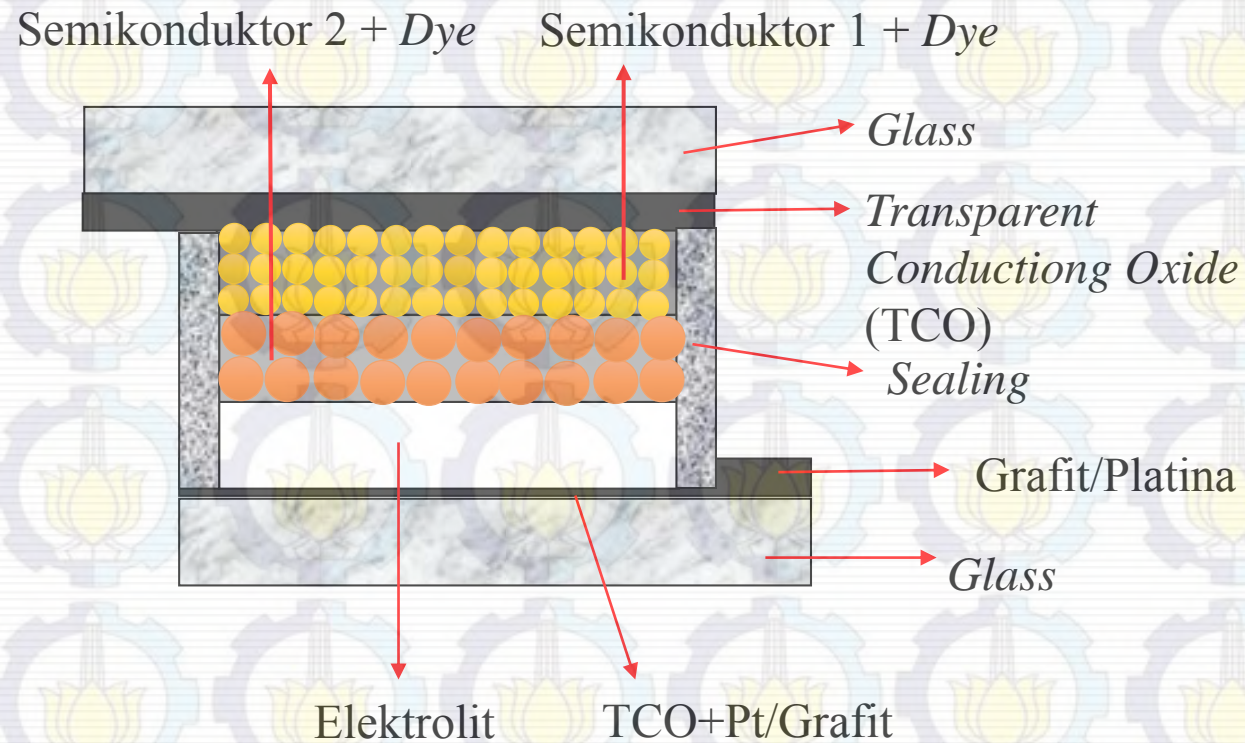
- Sustia Agustini (2013) $\eta = 0,037\%$
- Ruri Agung W (2013) $\eta = 0,0366\%$

Bilayer

- Ruri Agung W (2013) $\eta = 0.461\%$

Monolayer → Bilayer
Peningkatan 0,385%

Struktur Bilayer DSSC



Menggabungkan beberapa DSSC menjadi susunan rangkaian DSSC

Semikonduktor 1 (*top layer*)

- Berukuran nanometer
- Meningkatkan penyerapan Dye

Semikonduktor 2 (*bottom layer*)

- Berukuran submikrometer/nanometer yang lebih besar
- Meningkatkan penyerapan sinar matahari (*light scattering*)

Rumusan Masalah

1. Bagaimana proses fabrikasi DSSC berstruktur *bilayer* anatase TiO_2 yang menghasilkan efisiensi terbesar?
2. Bagaimana pengaruh rangkaian seri, paralel, dan gabungan keduanya terhadap unjuk kerja DSSC berstruktur *bilayer* anatase TiO_2 ?

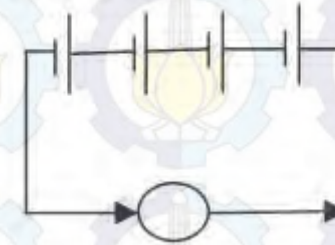
Batasan Masalah

- Dye yang digunakan berasal dari ekstrak kulit buah manggis
- Dye tidak dilakukan uji UV-Vis karena proses ekstraksi sama seperti penelitian-penelitian sebelumnya
- Komposisi TiO_2 pada *bilayer* adalah 100% anatase
- Pelapisan TiO_2 pada kaca *transparent conducting oxide* (TCO) menggunakan metode *doctor blade*
- Banyaknya DSSC yang difabrikasi untuk dikonfigurasi secara seri, paralel, atau campuran sebanyak 6 sel.
- Unjuk kerja DSSC diteliti melalui uji *Incident Photon to Current Conversion Efficiency* (IPCE) dan uji arus-tegangan.
- Unjuk kerja rangkaian diteliti melalui uji arus-tegangan.

Pengaruh Seri, Paralel, Campuran

Kholid Ramadhani, 2009

RANGKAIAN 1



$$\eta = 0,1619\%$$

RANGKAIAN 2



$$\eta = 0,1285\%$$

RANGKAIAN 3



$$\eta = 0,2103\%$$

RANGKAIAN 4



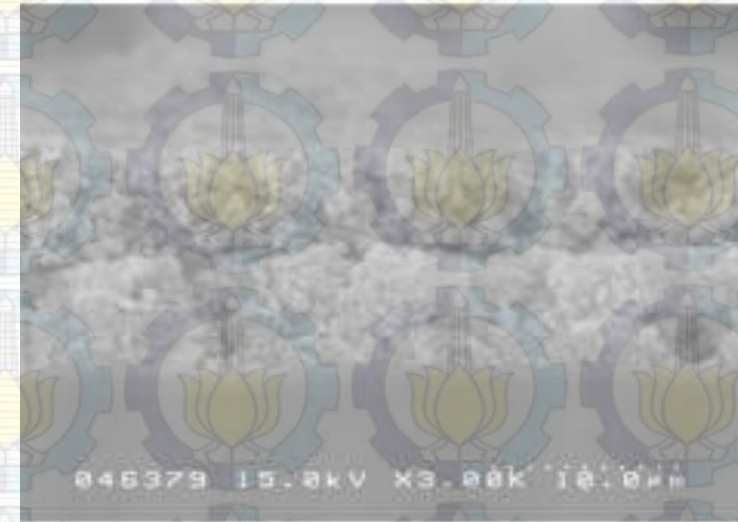
$$\eta = 0,1325\%$$

Pengaruh Seri, Paralel, Campuran

Kholid Ramadhani, 2009

Pengaruh Layer Semikonduktor

R. A. Wahyuono, 2013



- Monolayer anatase $\eta = 0,02\%$
- Monolayer rutile $\eta = 0,037\%$
- Bilayer anatase : rutile $\eta = 0,1365\%$
- Bilayer anatase : anatase $\eta = 0.461\%$

Ukuran (8,23 nm dan 27.2 nm)

Pengaruh Seri, Paralel, Campuran

Kholid Ramadhani, 2009

Pengaruh Layer Semikonduktor

R. A. Wahyuono, 2013

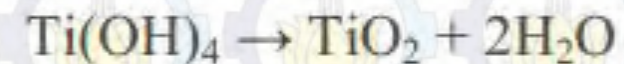
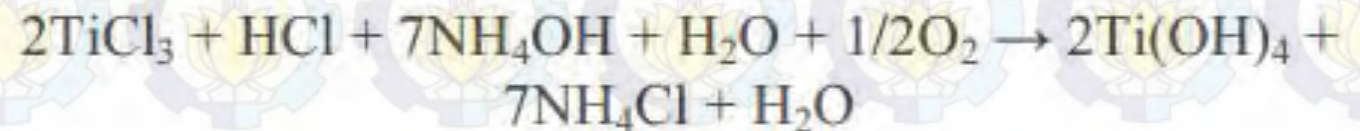
Sintesis TiO_2

A. Molea (2011)

Irana E. P. (2013)

A. Molea (2011)

- Metode solgel/kopresipitasi untuk mendapatkan TiO_2 dari TiCl_3



PENELITIAN SEBELUMNYA

Pengaruh Seri, Paralel, Campuran

Kholid Ramadhani, 2009

Pengaruh Layer Semikonduktor

R. A. Wahyuono, 2013

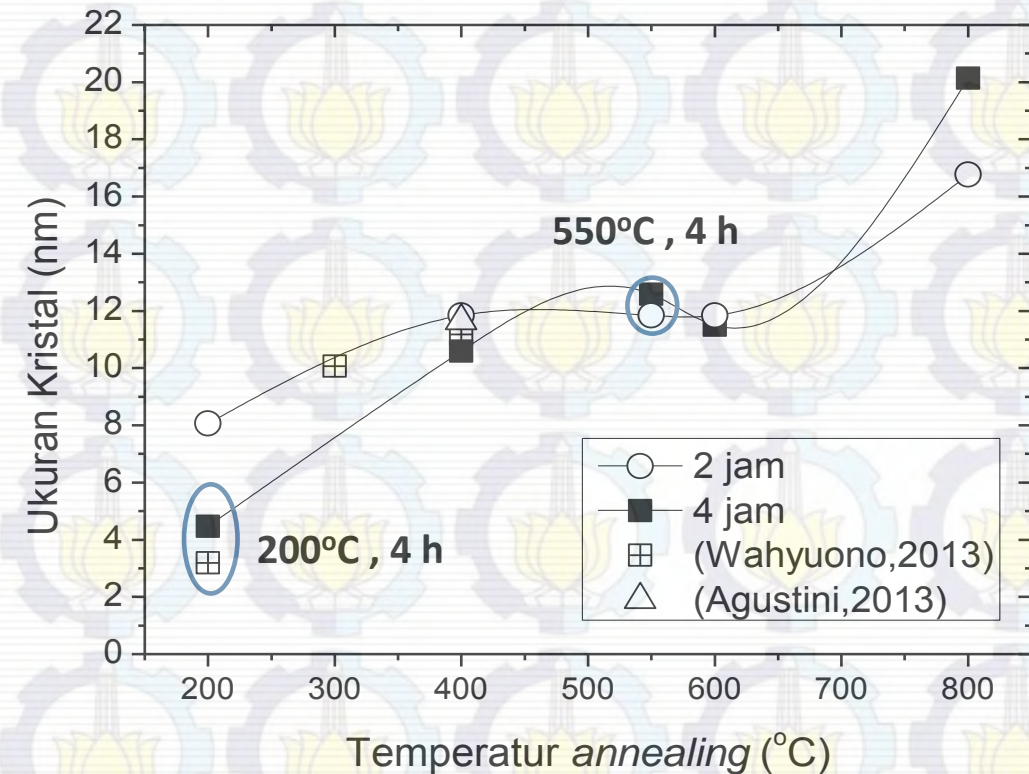
Sintesis TiO_2

A. Molea (2011)

Irana E. P. (2013)

Irana E. P. (2013)

- Rekayasa temperatur dan waktu furnace dalam mendapatkan ukuran TiO_2 yang diinginkan



Pengaruh Seri, Paralel, Campuran

Kholid Ramadhani, 2009

Pengaruh Layer Semikonduktor

R. A. Wahyuono, 2013

Sintesis TiO_2

A. Molea (2011)

Irana E. P. (2013)

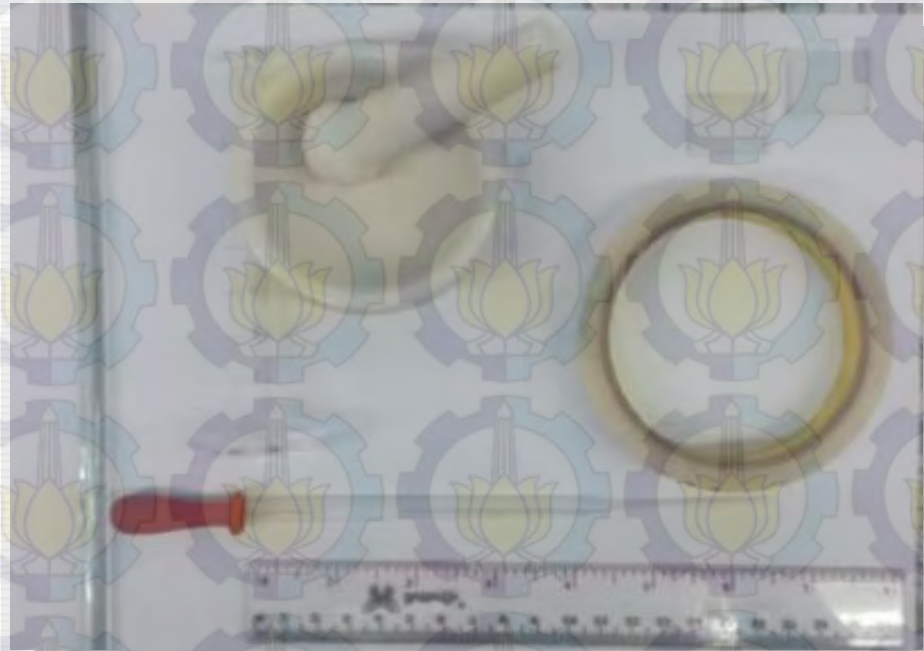
Nur Abdillah S. (2015)

- 6 DSSC
- *Bilayer* anatase
- Metode kopresipitasi
- 200°C selama 4 jam & 550°C selama 4 jam



Alat dan Bahan

- Alat
 1. Fabrikasi - *crucible*, spatula, penggaris, pipet, gelas ukur, dll
 2. Rangkaian - *Printed Circuit Board* (PCB) jenis *Dot Matrix*, kabel jumper, solder, dll





Alat dan Bahan

- Bahan
 1. Ekstrak pewarna alami - kulit manggis , kertas saring, dll
 2. Sintesis TiO_2 - TiCl_3 , HCl , NH_4OH
 3. Perakitan DSSC - CH_3COOH , Triton X-100 , PEG MW 4000, dll



METODOLOGI PENELITIAN

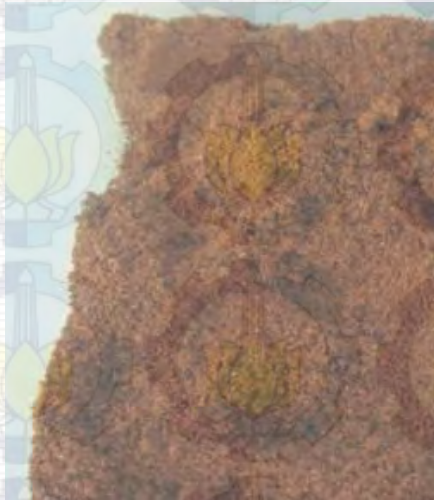
Ekstraksi Pewarna Kulit Manggis

Teknik maserasi → Bubuk Kulit Manggis ke Ethanol 96%

Mulai

Persiapan alat dan bahan

Ekstraksi *dye* dari kulit manggis



1



2



3

METODOLOGI PENELITIAN

Sintesis TiO_2 → Metode Kopresipitasi

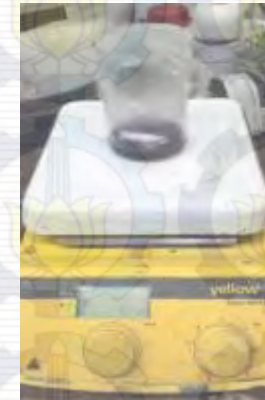


Uji XRD

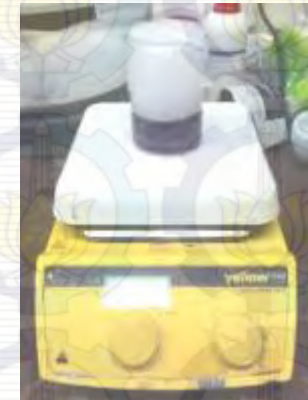
Laboratorium XRD

Jurusan Teknik Material
dan Metalurgi ITS

→ Sudut 15° hingga 65°



1



2



3

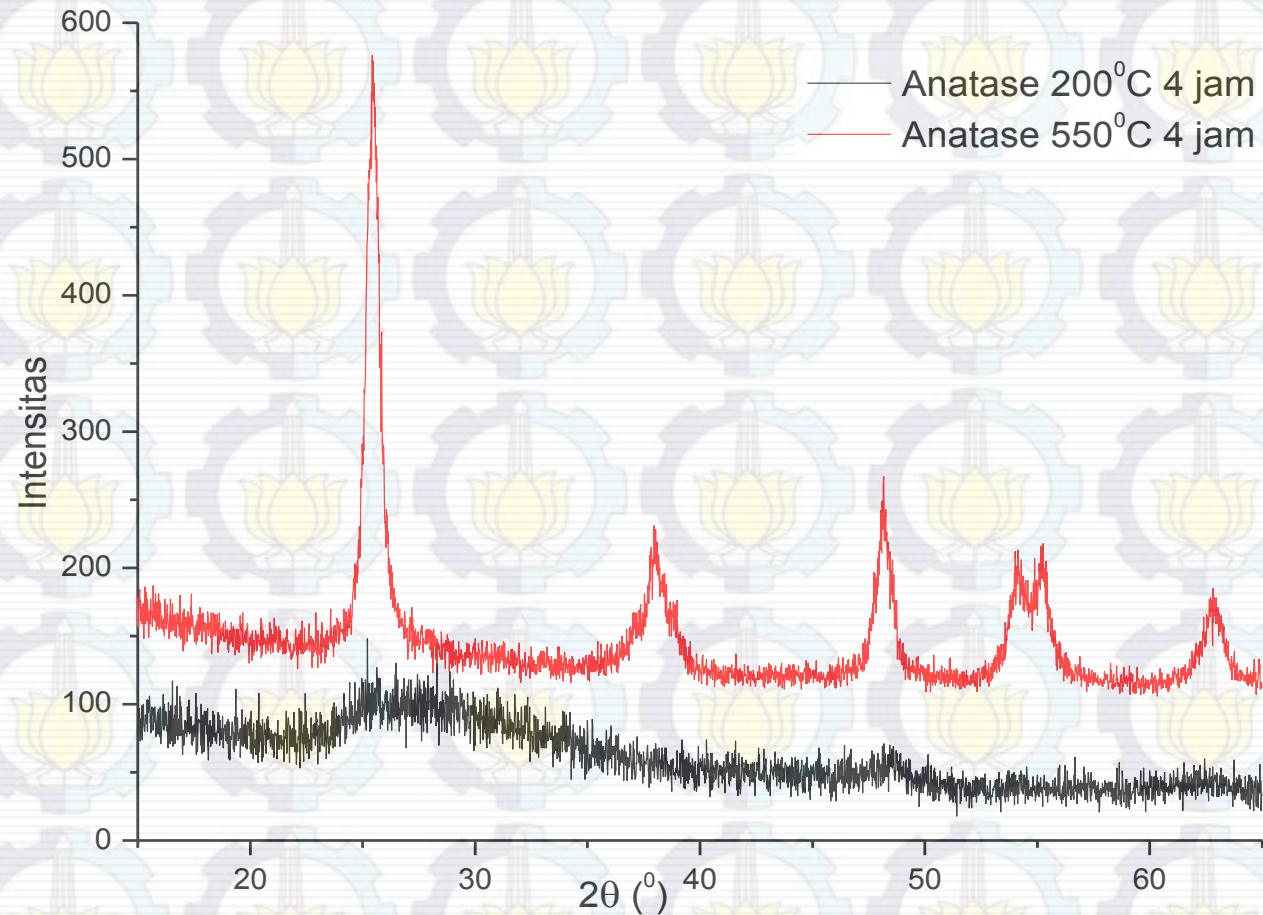


4

- 200°C selama 4 jam
- 550°C selama 4 jam

Hasil Pengujian XRD

JCPDS No.21-1272



$$D = \frac{0,92 \lambda}{FWHM \cos \theta} \quad \lambda = 0,154 \text{ nm}$$

Top Layer (A1)

FWHM / β (radian)	Θ (radian)	D (nm)
1.52	25.491	5,43

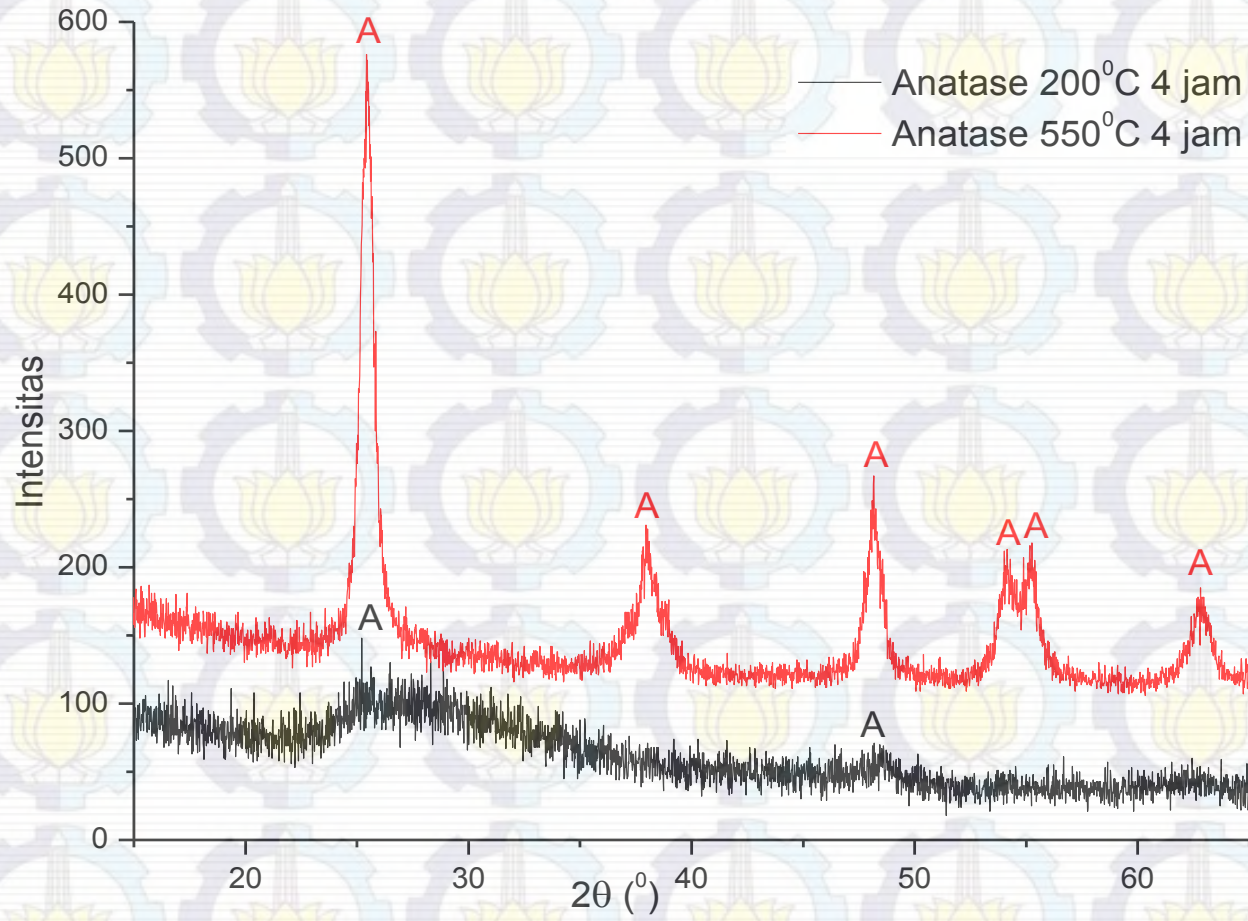
Bottom Layer (A2)

FWHM / β (radian)	Θ (radian)	D (nm)
0.1673	25.43	49.26

Hasil Pengujian XRD

JCPDS No.21-1272

$$D = \frac{0,92 \lambda}{FWHM \cos \theta} \quad \lambda = 0,154 \text{ nm}$$



Top Layer (A1)

FWHM / β (radian)	Θ (radian)	D (nm)
1.52	25.491	5,43

Bottom Layer (A2)

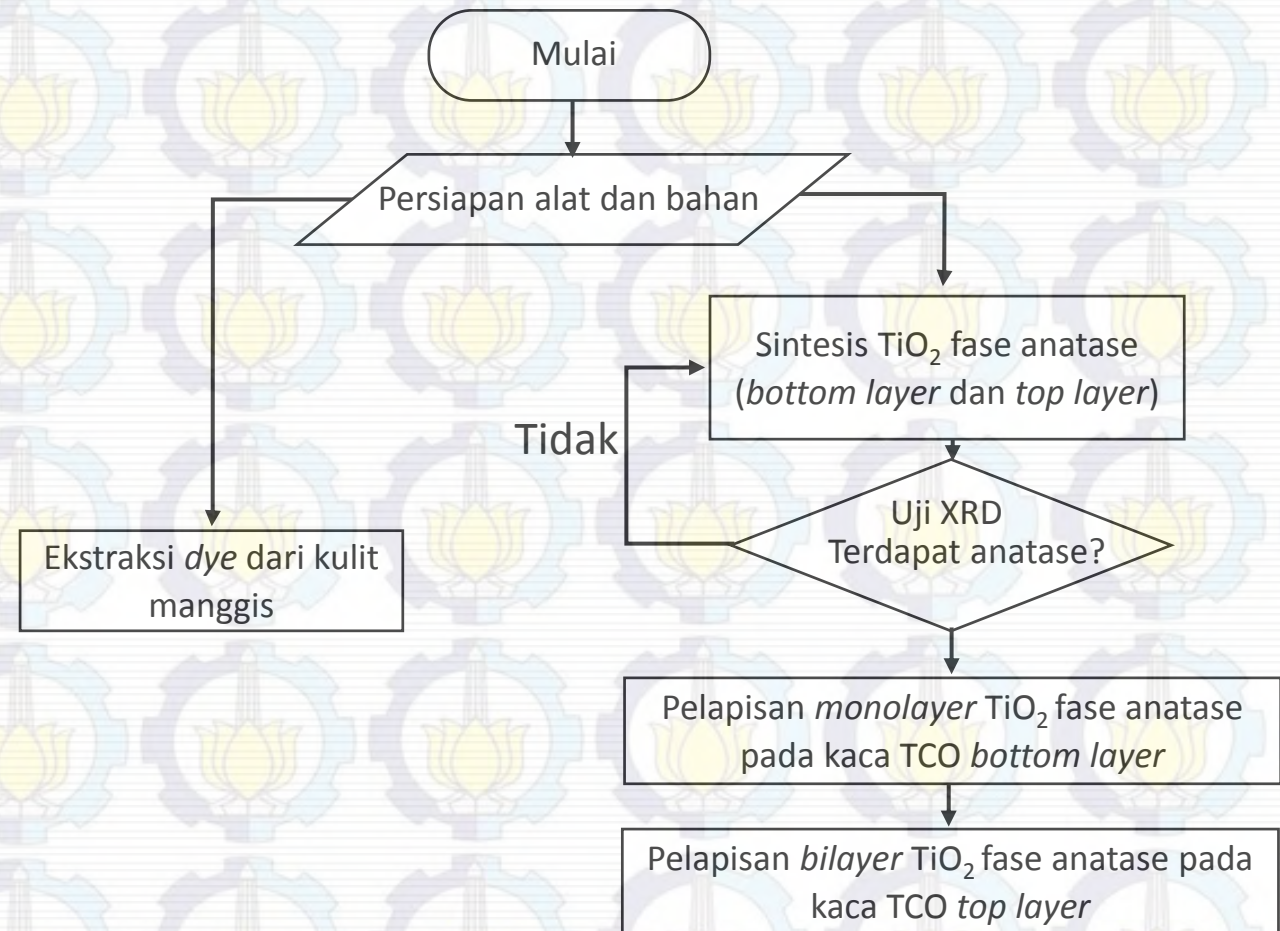
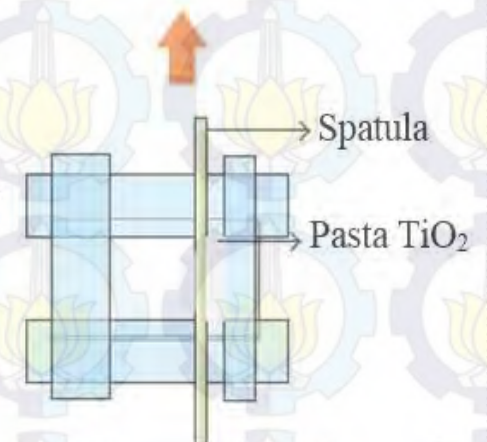
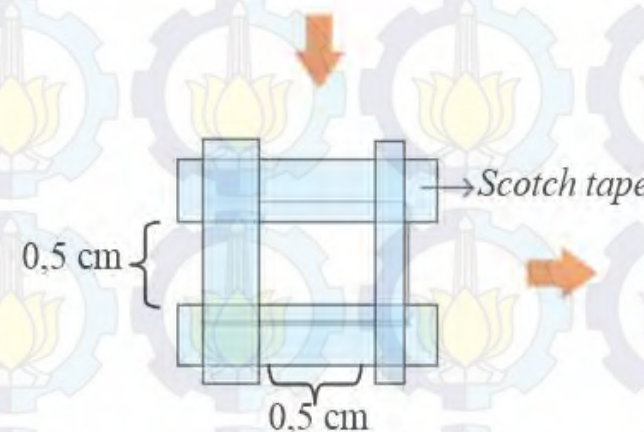
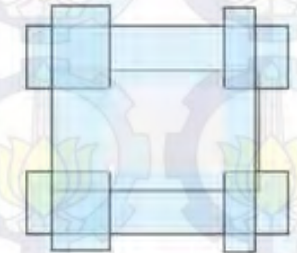
FWHM / β (radian)	Θ (radian)	D (nm)
0.1673	25.43	49.26

METODOLOGI PENELITIAN

Pelapisan TiO_2 pada Kaca *Transparent Conductive Oxide* (TCO)

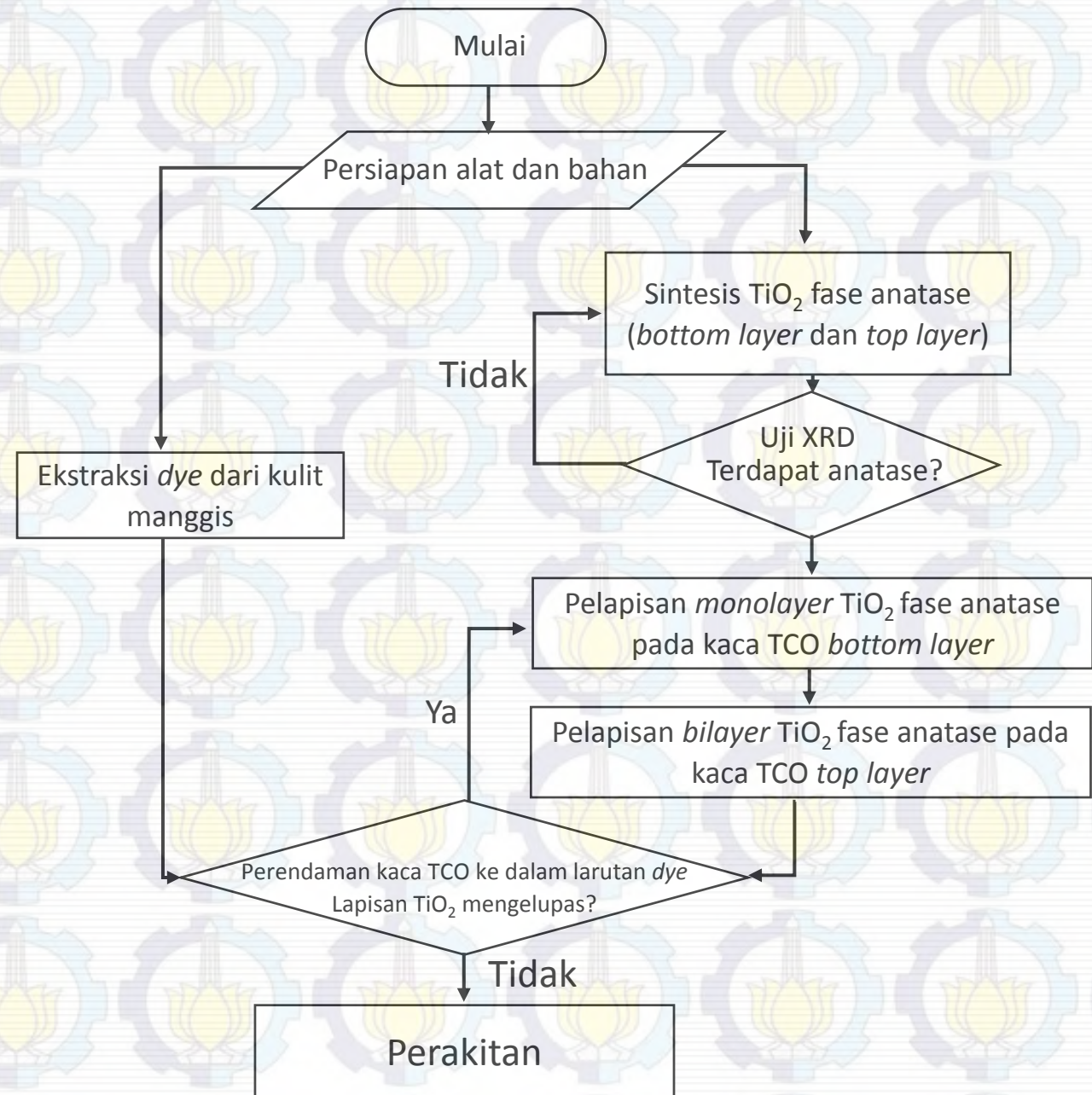


Metode *doctor blade*

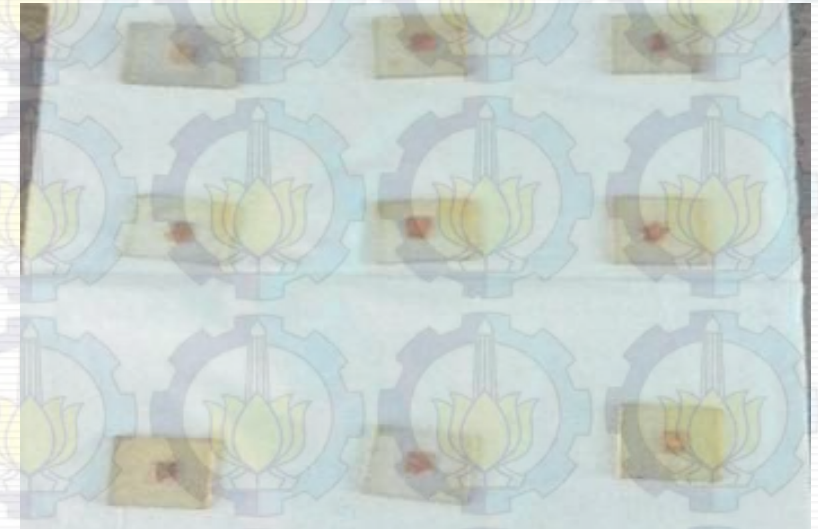


METODOLOGI PENELITIAN

Perendaman Kaca TCO Berlapis TiO_2 di Larutan Pewarna

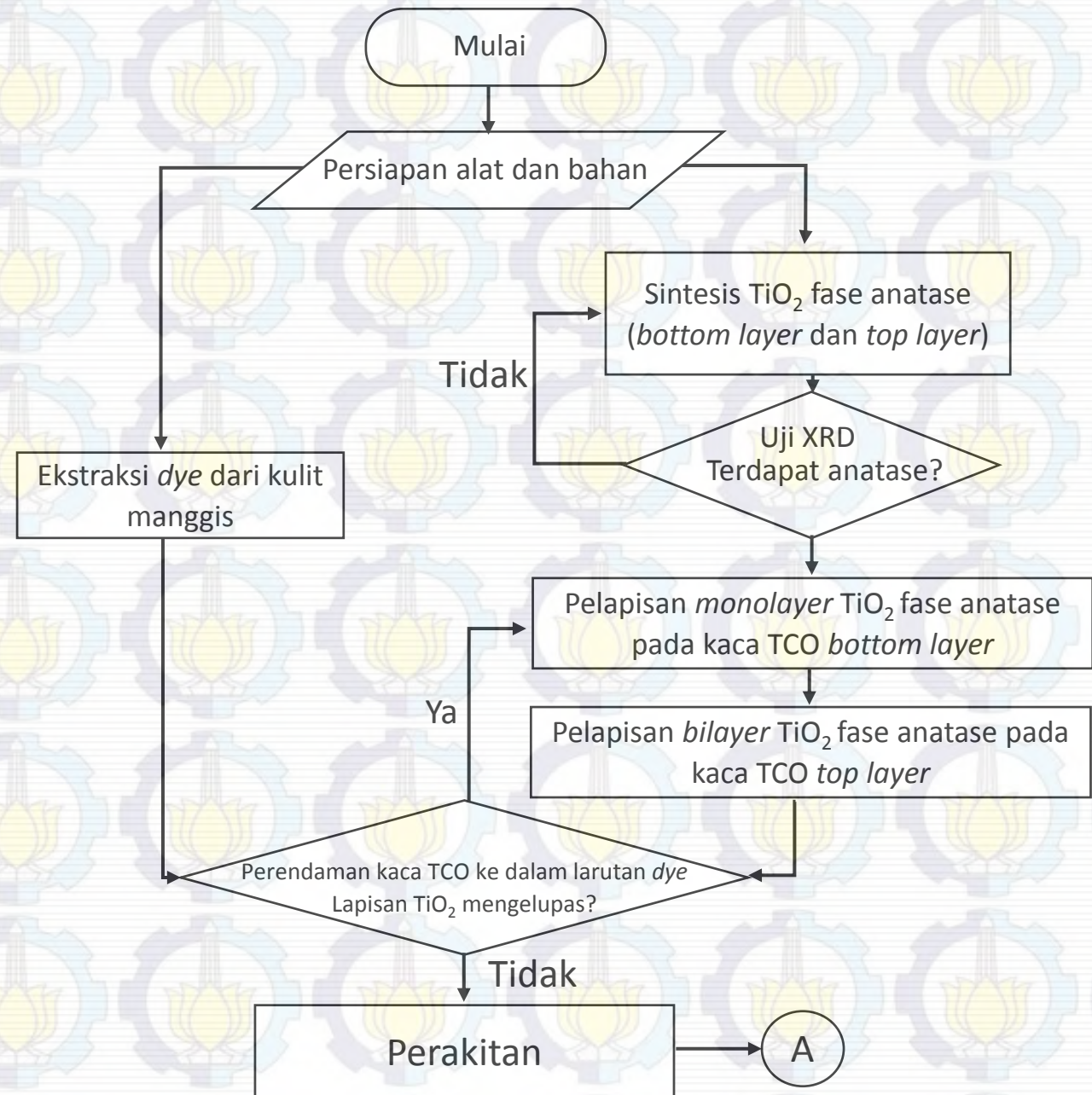
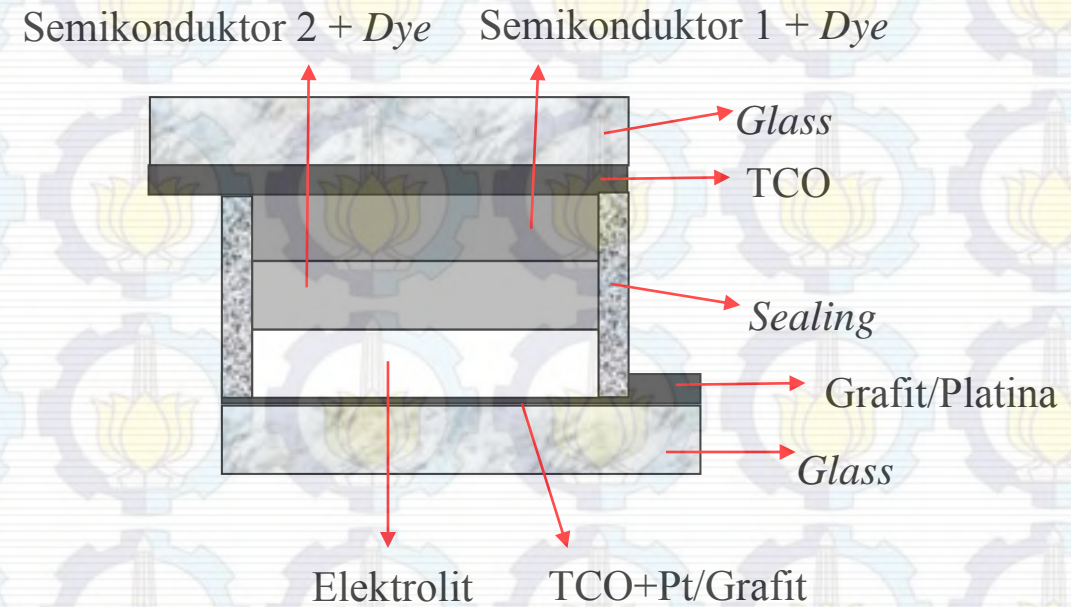


Perendaman 12 jam



METODOLOGI PENELITIAN

Perakitan → Struktur Sandwich
Penambahan elektrolit dan elektroda lawan

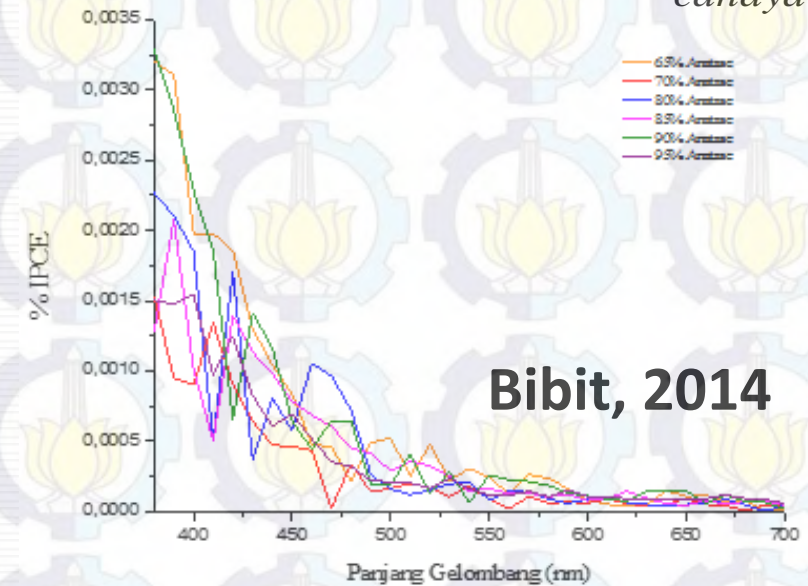


Pengujian Unjuk Kerja Setiap DSSC

1. Uji Karakterisasi IPCE

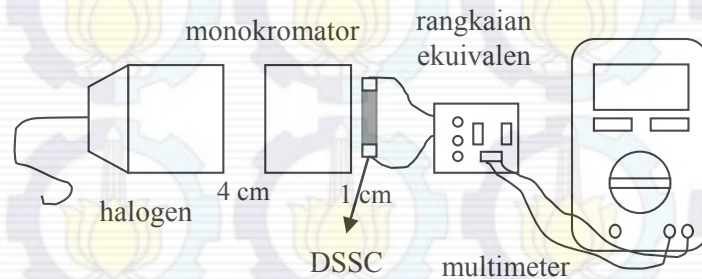
Parameter untuk menentukan efisiensi konversi cahaya pada DSSC

$$IPCE [\%] = \frac{1240 \times J_{SC}}{\lambda \times P_{cahaya}}$$

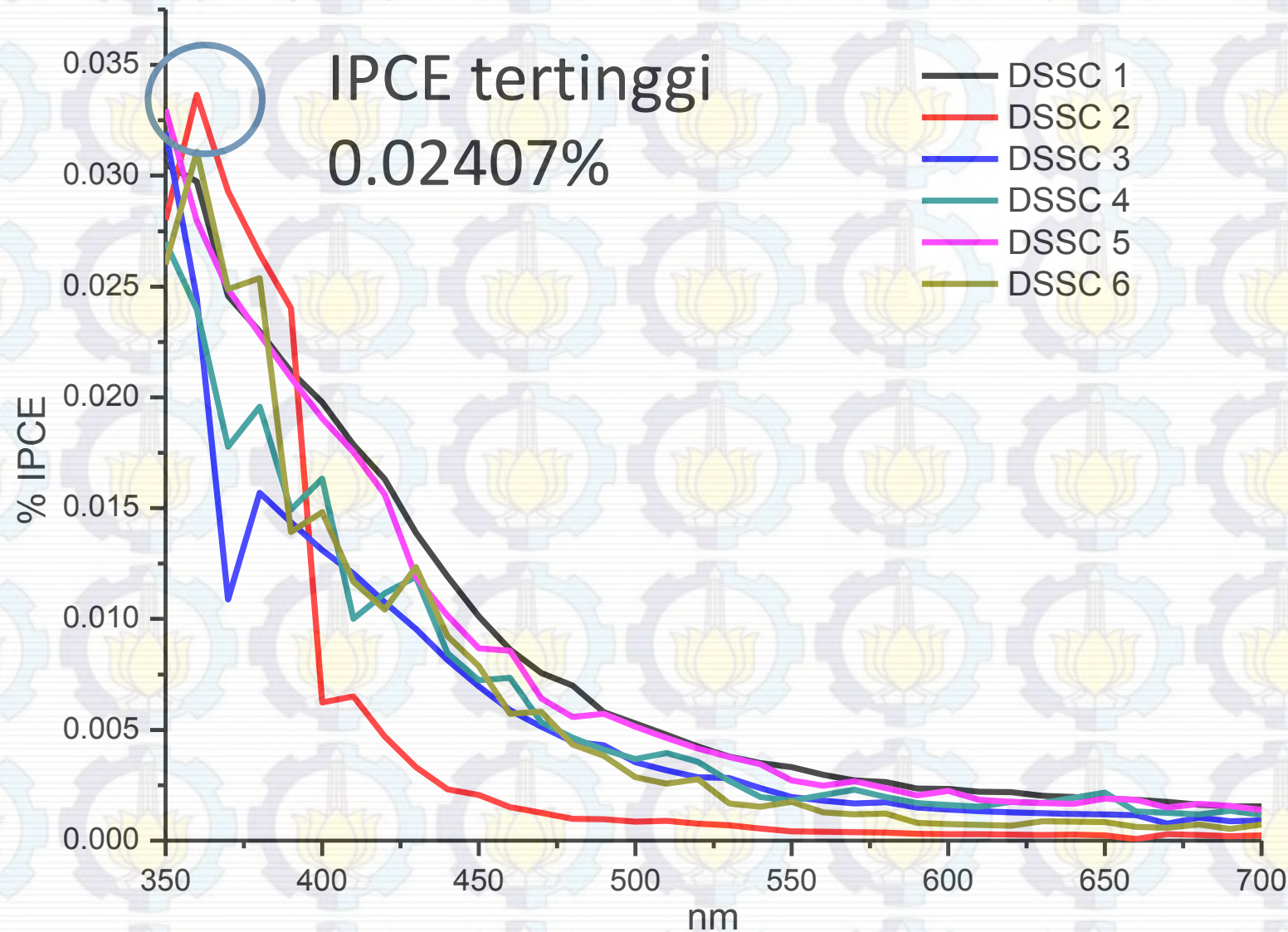


Bibit, 2014

Laboratorium Fotonika Teknik Fisika ITS ITS



Hasil Pengujian IPCE



IPCE tinggi
350-500 nm

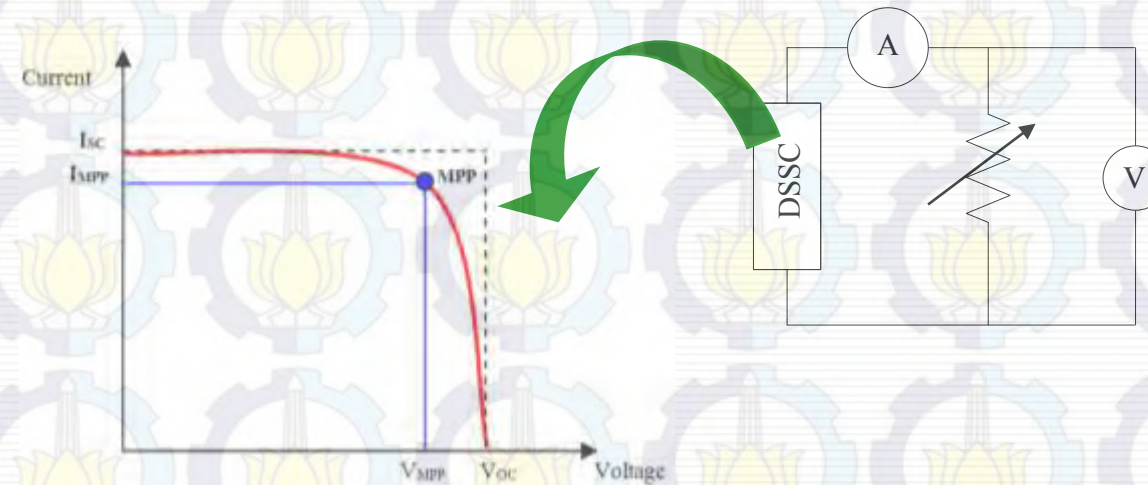
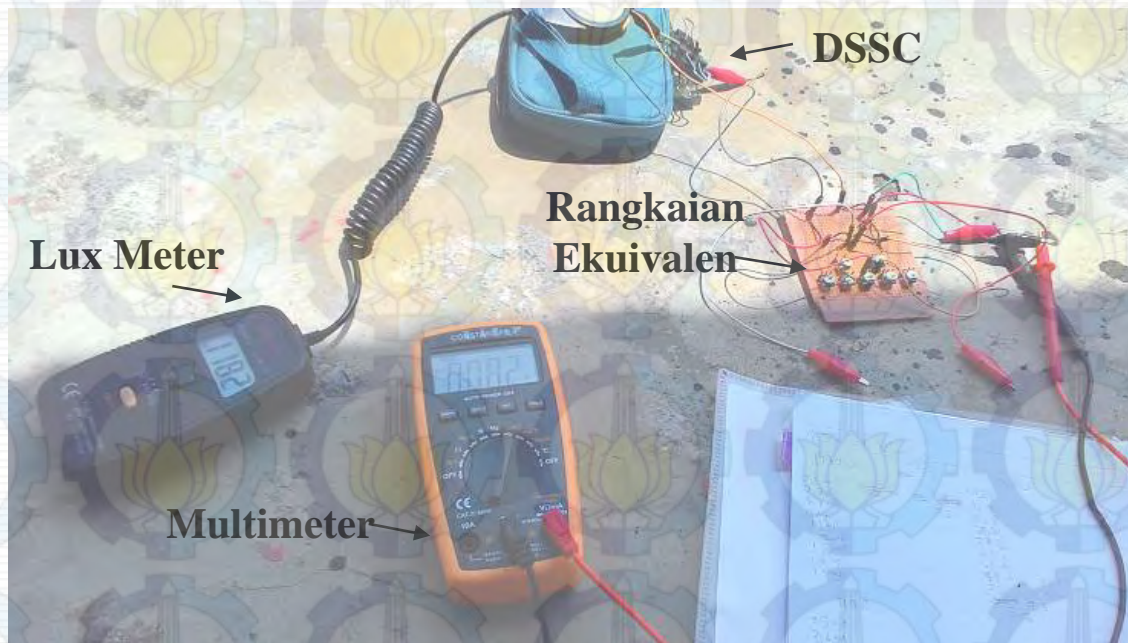
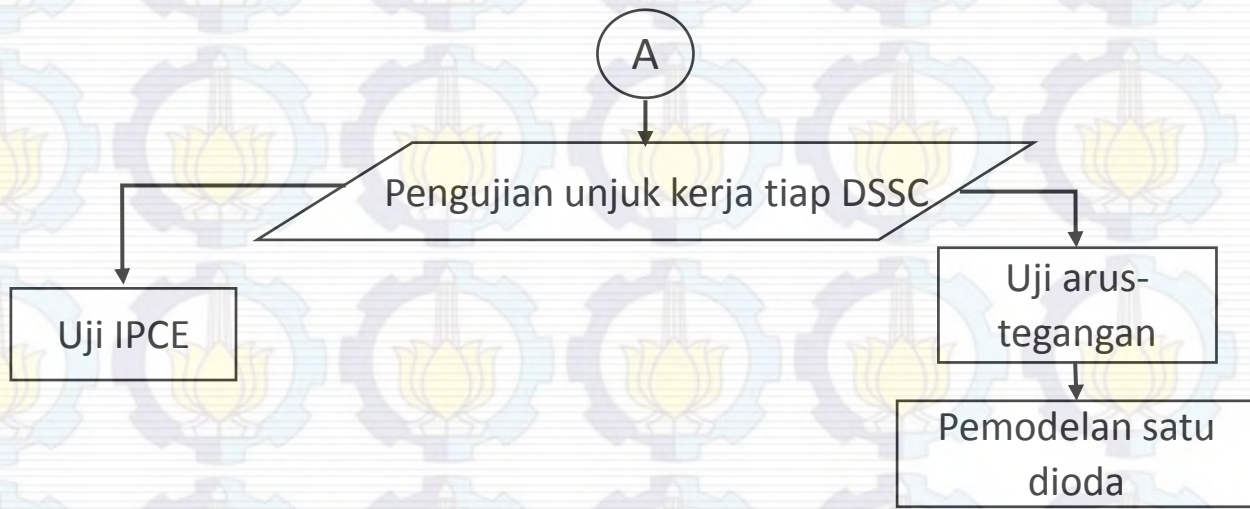
Antosianin tipe
sianidin
400-500 nm

METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian Unjuk Kerja Setiap DSSC

2. Uji Arus Tegangan

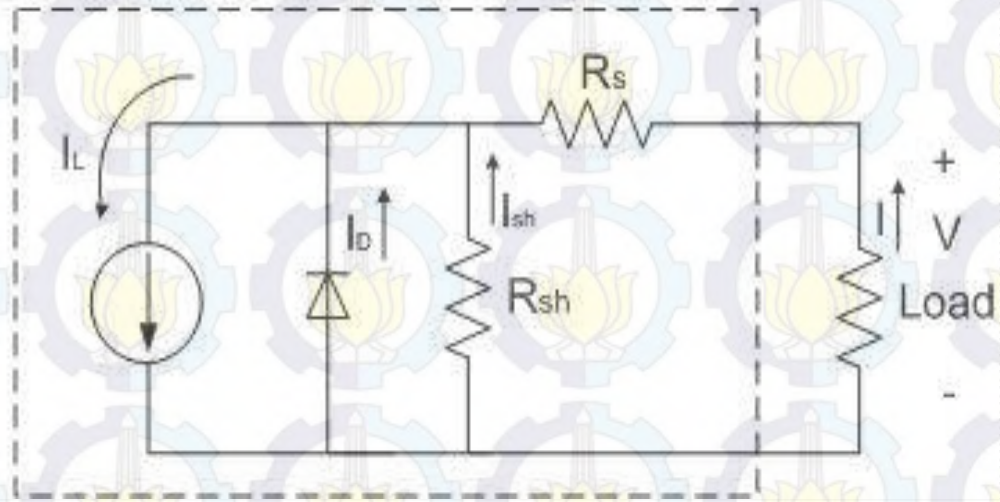
Untuk menentukan bentuk kurva I-V dan efisiensi dari setiap DSSC



$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} I_{SC}} \quad P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad \eta = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}}$$

Penggunaan Pemodelan Dioda

SOLAR CELL



$$I(V) = I_L - \frac{V - R_s I}{R_{sh}} - I_o \left\{ \exp \left[\frac{q(V - R_s I)}{A k T} \right] - 1 \right\}$$

R_{sh} diasumsikan sangat besar \rightarrow diabaikan
 R_s diasumsikan sangat kecil \rightarrow diabaikan

$$I = I_L - I_o \left[\exp \left(\frac{V q}{A k T} \right) - 1 \right]$$

Keterangan :

I = arus (A)

V = tegangan (V)

R_s = hambatan seri (Ω)

R_{sh} = hambatan paralel (Ω)

I_o = Arus Jenuh Dioda (A)

$k = 1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

$q = 1.60217657 \times 10^{-19} \text{ C}$

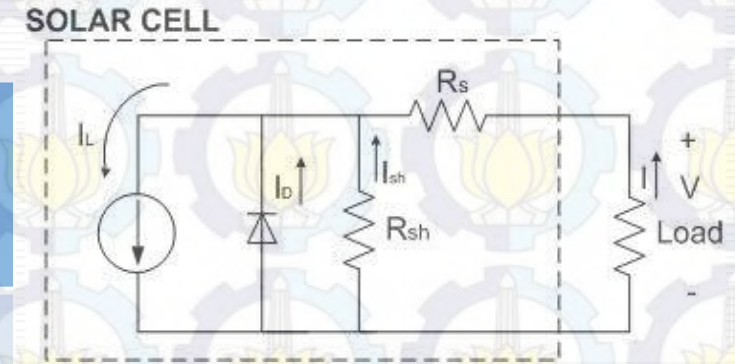
A = faktor idealitas dioda (1)

T = Temperatur Pengukuran (K)

HASIL PENGUJIAN

Hasil Pengujian Arus Tegangan Setiap DSSC

Nama DSSC	J_{sc}	V_{oc}	Fill Factor (%)		P_{max} (mW/cm ²)	
	(mA/cm ²)	(mV)	Pengukuran	Pemodelan	Pengukuran	Pemodelan
DSSC 1	0,099	374,5	44,05	75,28	4,083	6,978
DSSC 2	0,084	368,3	38,30	75,48	2,962	5,838
DSSC 3	0,080	359,8	21,83	74,65	1,571	5,372
DSSC 4	0,076	346,7	22,21	73,98	1,463	4,873
DSSC 5	0,060	342,0	23,90	73,70	1,226	3,781
DSSC 6	0,064	344,2	25,80	73,78	1,421	4,063



R_{sh} diasumsikan sangat besar → akan
 R_s diasumsikan sangat kecil → akan

$R_{sh} \rightarrow$ berubah nilainya dalam kondisi intensitas cahaya yang rendah

$R_s \rightarrow$ Berpengaruh

HASIL PENGUJIAN

$$FF_s = FF_0 \left(1 - \frac{R_s}{R_{CH}}\right)$$

Keterangan :

FF_0 = FF pemodelan

FF_s = FF sesungguhnya akibat adanya hambatan seri

R_{CH} = hambatan karakteristik yang merupakan V_{oc}/I_{sc} .

Nama DSSC	$I_{sc} \times 10^{-6}$ (A)	V_{oc} (V)	$R_{CH} \times 10^3 (\Omega)$	FF_0 (%)	FF_s (%)	R_s (k Ω)
DSSC 1	25	0,3745	15,13	75,28	44,05	6.28
DSSC 2	21	0,3683	17,54	75,48	38,3	8,64
DSSC 3	20	0,3598	17,99	74,65	21,83	12,73
DSSC 4	19	0,3467	18,25	73,98	22,21	12,77
DSSC 5	15	0,3420	22,80	73,7	23,9	15,41
DSSC 6	16	0,3442	21,51	73,78	25,8	13,99

Rentang R_s

$6.28 \times 10^3 - 15,41 \times 10^3 \Omega$

Perhitungan Efisiensi Setiap DSSC

HASIL PENGUJIAN

Nama DSSC	Luxmeter			Pyranometer		
	Inten-sitas (W/cm ²)	Efisiensi (%)		Inten-sitas (W/cm ²)	Efisiensi (%)	
		Pengu-kuran	Teoretis		Pengu-kuran	Teoretis
DSSC 1	0,00682	0,0598	0,1023	0,01250	0,0327	0,0558
DSSC 2	0,00685	0,0432	0,0852	0,01263	0,0235	0,0462
DSSC 3	0,00695	0,0226	0,0773	0,01304	0,0120	0,0412
DSSC 4	0,00698	0,0210	0,0698	0,01318	0,0111	0,0370
DSSC 5	0,00721	0,0170	0,0524	0,01418	0,0087	0,0267
DSSC 6	0,00745	0,0191	0,0546	0,01521	0,0093	0,0267

Perbandingan Efisiensi DSSC

Monolayer

- Sustia Agustini (2013) $\eta = 0,0222\%$
- Ruri Agung W (2013) $\eta = 0,02196\%$

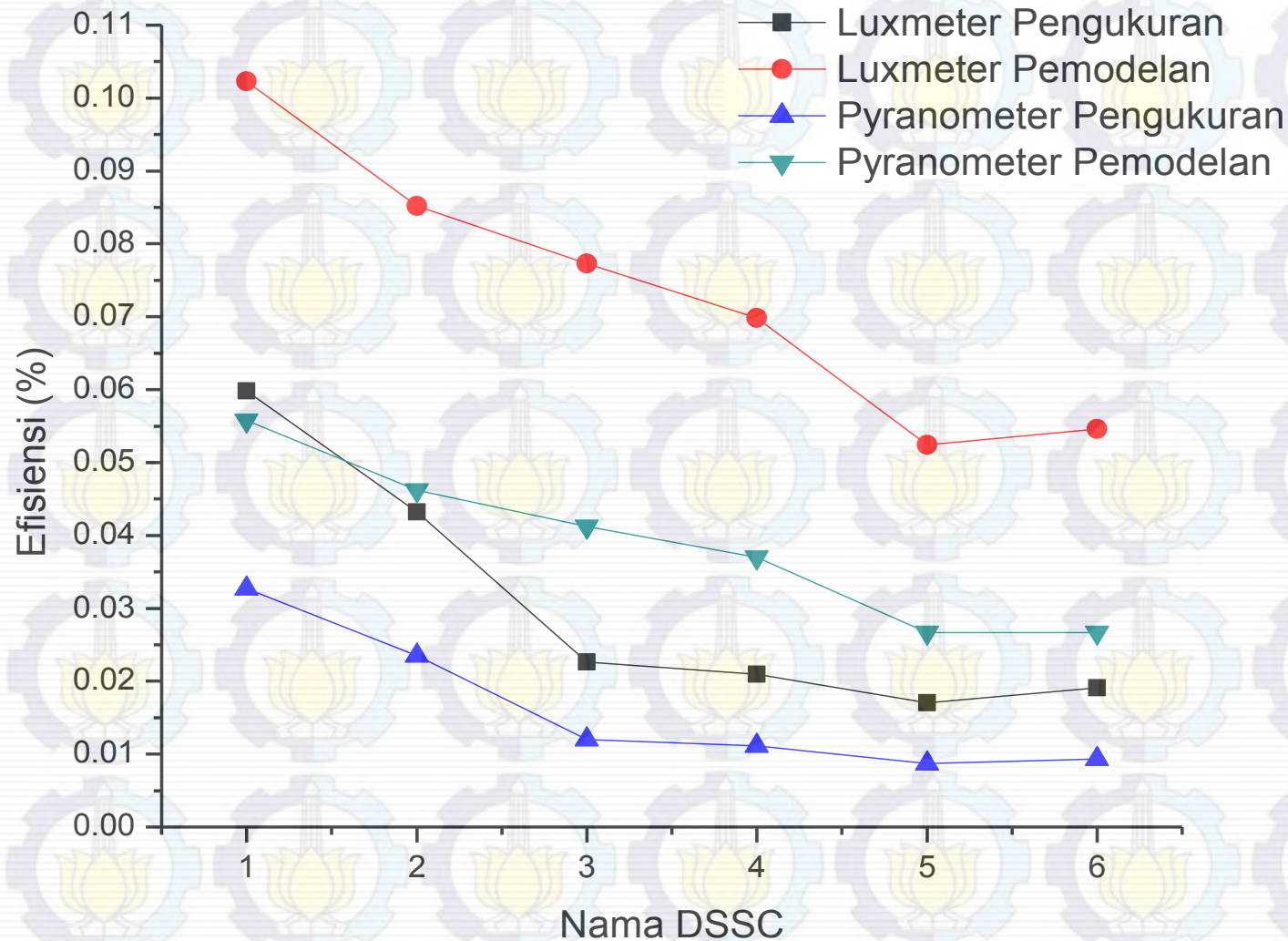
Bilayer

- Ruri Agung W (2013) $\eta = 0.2766\%$
(8,23 nm dan 27.2 nm)

Rentang Efisiensi

0,0087% - 0,0327%

Kurva Efisiensi Setiap DSSC

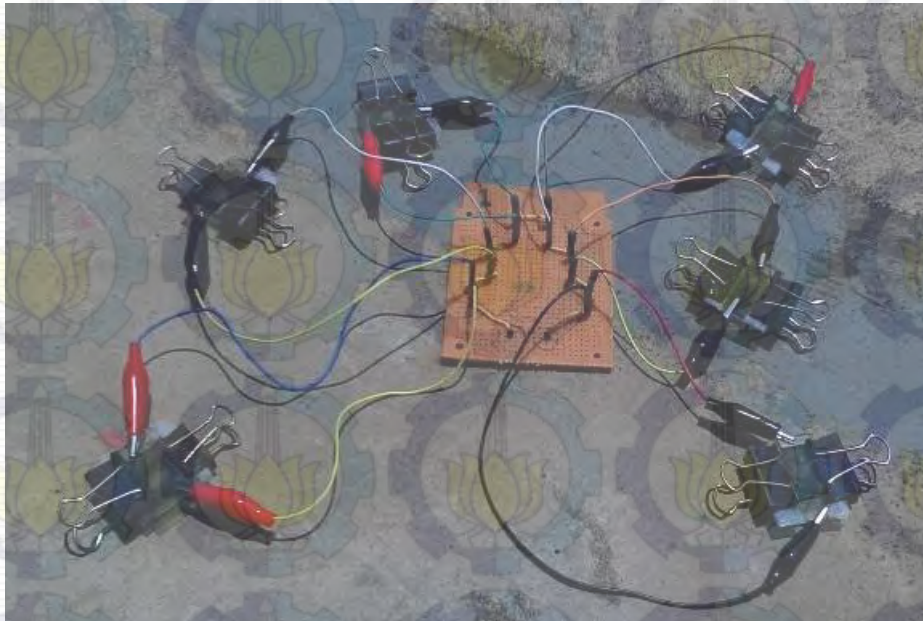
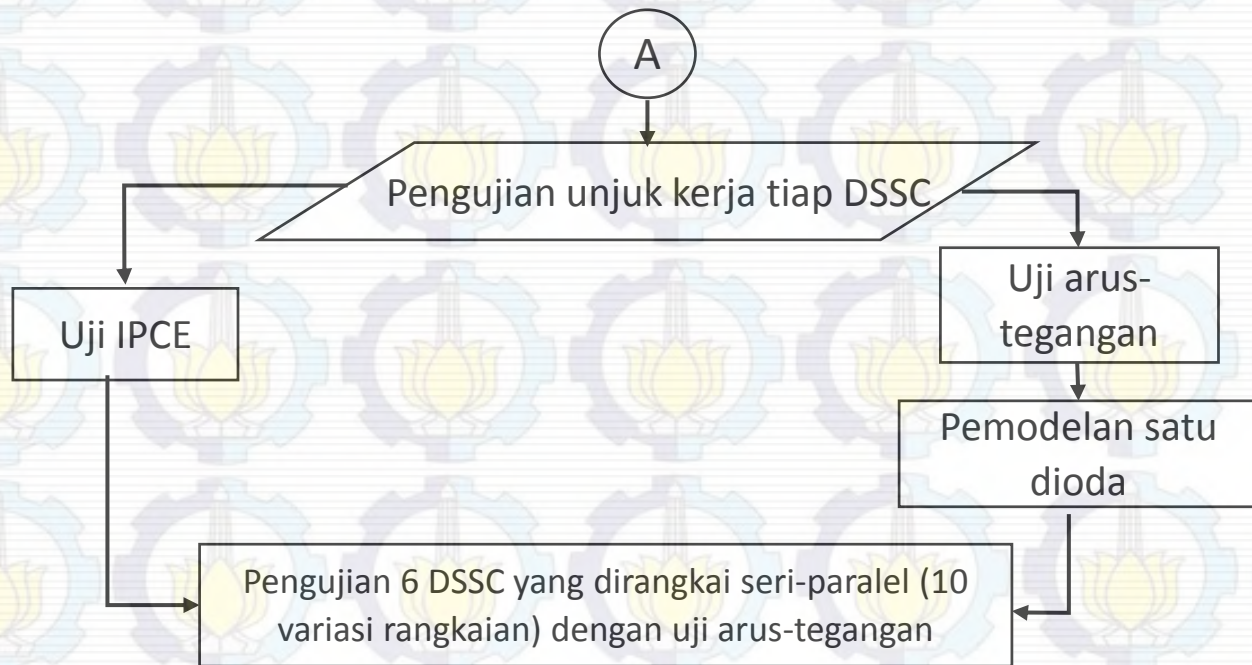


Intensitas daya *luxmeter*
 $0,02729 \text{ W/cm}^2 - 0,02978 \text{ W/cm}^2$

Intensitas daya *pyranometer*
 $0,0298 \text{ W/cm}^2 - 0,0307 \text{ W/cm}^2$.

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}}$$

DSSC dirangkai Seri dan Paralel



Rangkaian 1



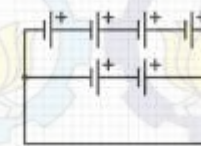
Rangkaian 2



Rangkaian 6



Rangkaian 7



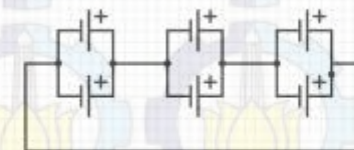
Rangkaian 3



Rangkaian 4



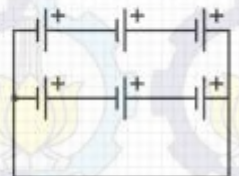
Rangkaian 8



Rangkaian 9



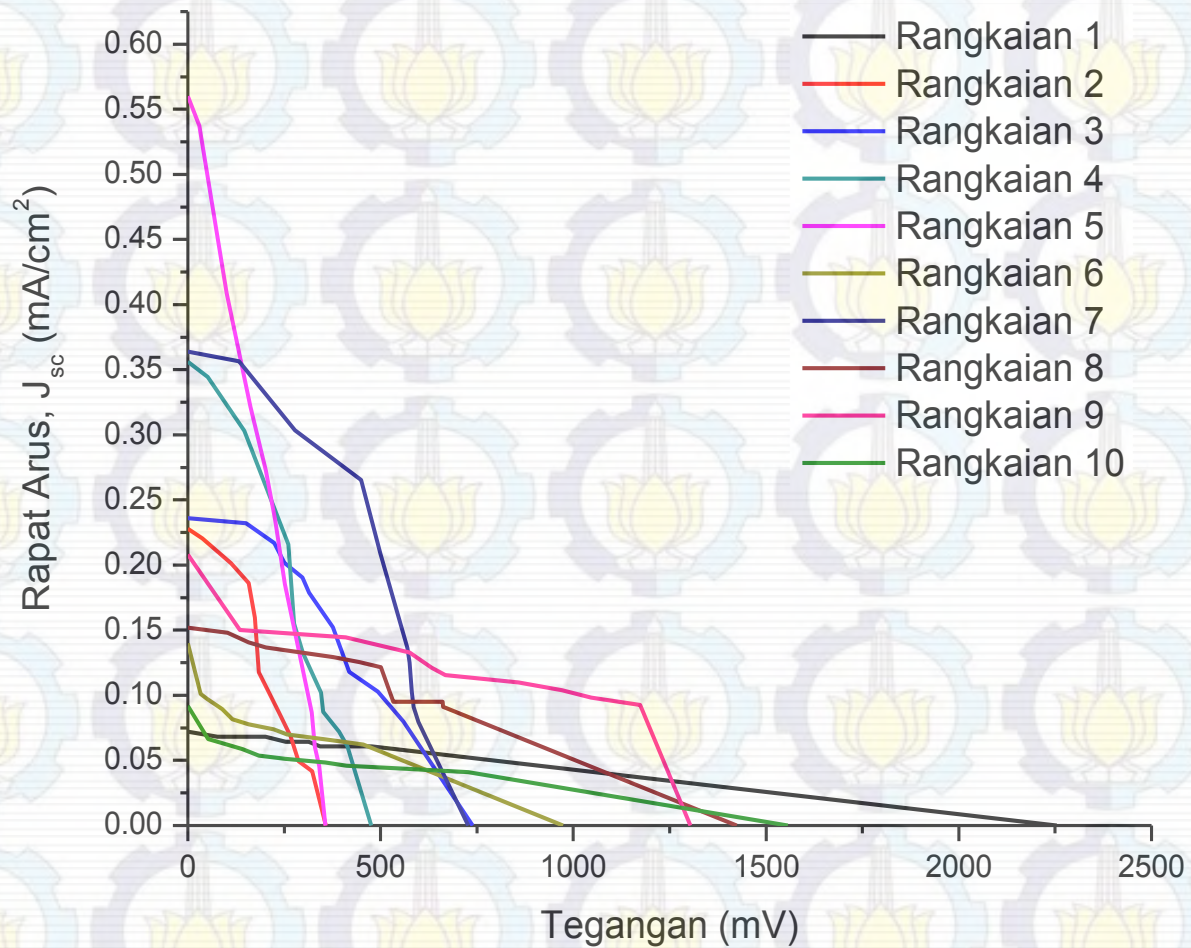
Rangkaian 5



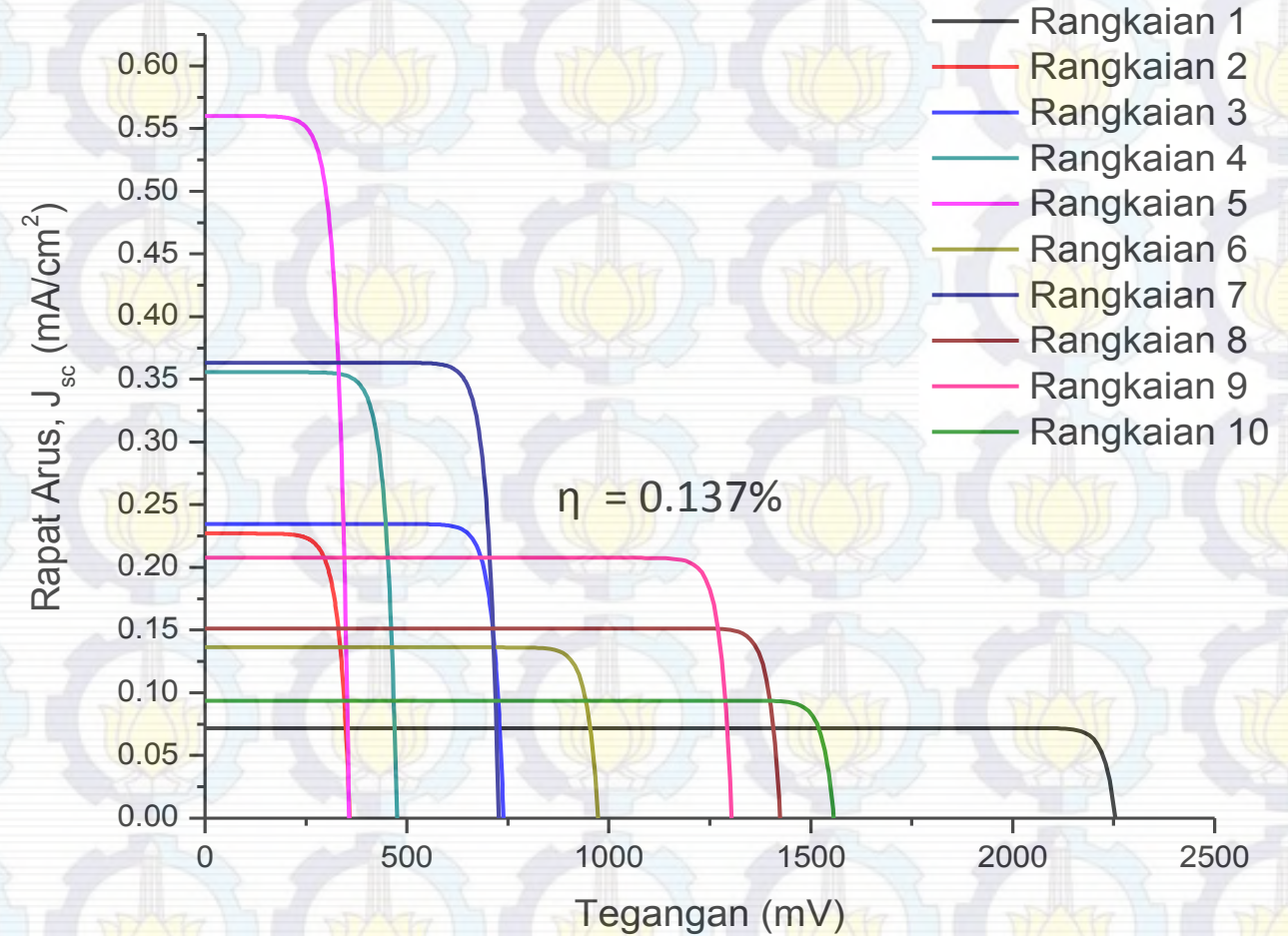
Rangkaian 10

Kurva Arus-Tegangan Setiap Rangkaian

Pengukuran



Pengukuran + Pemodelan



Karakterisasi Tiap Rangkaian

Nama DSSC	J_{sc}	V_{oc}	Fill Factor		P_{max} (mWcm ⁻²)	
	(mA/ cm ²)	(mV)	Pengu- kuran	Teoretis	Pengu- kuran	Teoretis
Rang.1	0,072	2254	34,56	93,67	14,02	37,95
Rang. 2	0,227	358,34	35,99	74,82	7,35	15,22
Rang. 3	0,235	739,17	32,83	84,94	14,32	36,82
Rang. 4	0,356	475,28	33,25	79,20	13,82	33,47
Rang. 5	0,560	356,59	27,68	74,64	14,07	37,26
Rang. 6	0,136	973,32	20,77	87,62	7,08	29,04
Rang. 7	0,363	726,93	45,12	84,55	27,11	55,81
Rang. 8	0,151	1424	29,00	90,76	15,69	48,90
Rang. 9	0,208	1304	39,98	90,12	29,85	61,00
Rang. 10	0,094	1557	20,77	91,39	7,44	33,35

$R_s \rightarrow$ Berpengaruh

$$FF_s = FF_0 \left(1 - \frac{R_s}{R_{CH}}\right)$$

HASIL PENGUJIAN

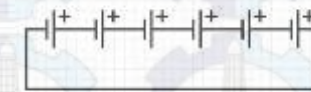
Nama Rangkaian	Isc x10-6 (A)	Voc (V)	Rch x103 (Ω)	FF0 (%)	FFs (%)	Rs (kΩ)
Rang,1	18	2,254	125,22	93,67	34,56	79,02
Rang, 2	56,8	0,3583	6,31	74,82	35,99	3,28
Rang, 3	58,8	0,7392	12,58	84,94	32,83	7,72
Rang, 4	89	0,4753	5,34	79,2	33,25	3,10
Rang, 5	140	0,3566	2,55	74,64	27,68	1,60
Rang, 6	34	0,9733	28,63	87,62	20,77	21,84
Rang, 7	91	0,7269	8,01	84,55	45,12	3,74
Rang, 8	38	1,424	37,72	90,76	29	25,67
Rang, 9	52	1,304	25,08	90,12	39,98	13,95
Rang, 10	24	1,557	66,26	91,39	20,77	51,20

Rentang R_s

$$6.28 \times 10^3 - 15,41 \times 10^3 \Omega$$

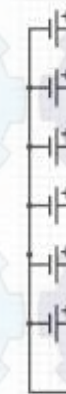
$$R_{seri_total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

$$R_{paralel_total} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}$$



Rangkaian 1

$$R_s = 13,17 \times 10^3 \Omega$$



Rangkaian 5

$$R_s = 9,6 \times 10^3 \Omega$$

Perhitungan Efisiensi Setiap Rangkaian

Nama DSSC	Luxmeter			Pyranometer		
	Intensitas (W/cm ²)	Efisiensi (%)		Intensitas (W/cm ²)	Efisiensi (%)	
		Pengu- kuran	Teoretis		Pengu- kuran	Teoretis
Rang.1	0,0396	0,0354	0,0958	0,0752	0,0187	0,0505
Rang. 2	0,0400	0,0184	0,0380	0,0770	0,0095	0,0198
Rang. 3	0,0403	0,0356	0,0914	0,0783	0,0183	0,0471
Rang. 4	0,0407	0,0340	0,0823	0,0801	0,0173	0,0418
Rang. 5	0,0408	0,0344	0,0912	0,0809	0,0174	0,0460
Rang. 6	0,0417	0,0170	0,0697	0,0850	0,0083	0,0342
Rang. 7	0,0412	0,0658	0,1356	0,0825	0,0328	0,0676
Rang. 8	0,0410	0,0382	0,1192	0,0819	0,0192	0,0597
Rang. 9	0,0409	0,0729	0,1490	0,0814	0,0366	0,0749
Rang. 10	0,0408	0,0184	0,0818	0,0806	0,0174	0,0414

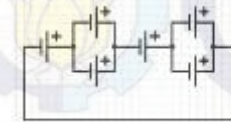
Efisiensi Rendah



Rangkaian 2

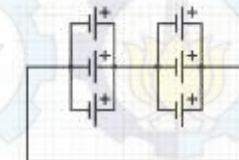


Rangkaian 4

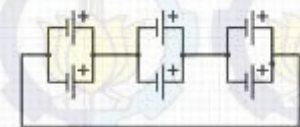


Rangkaian 6

Efisiensi Tinggi



Rangkaian 7

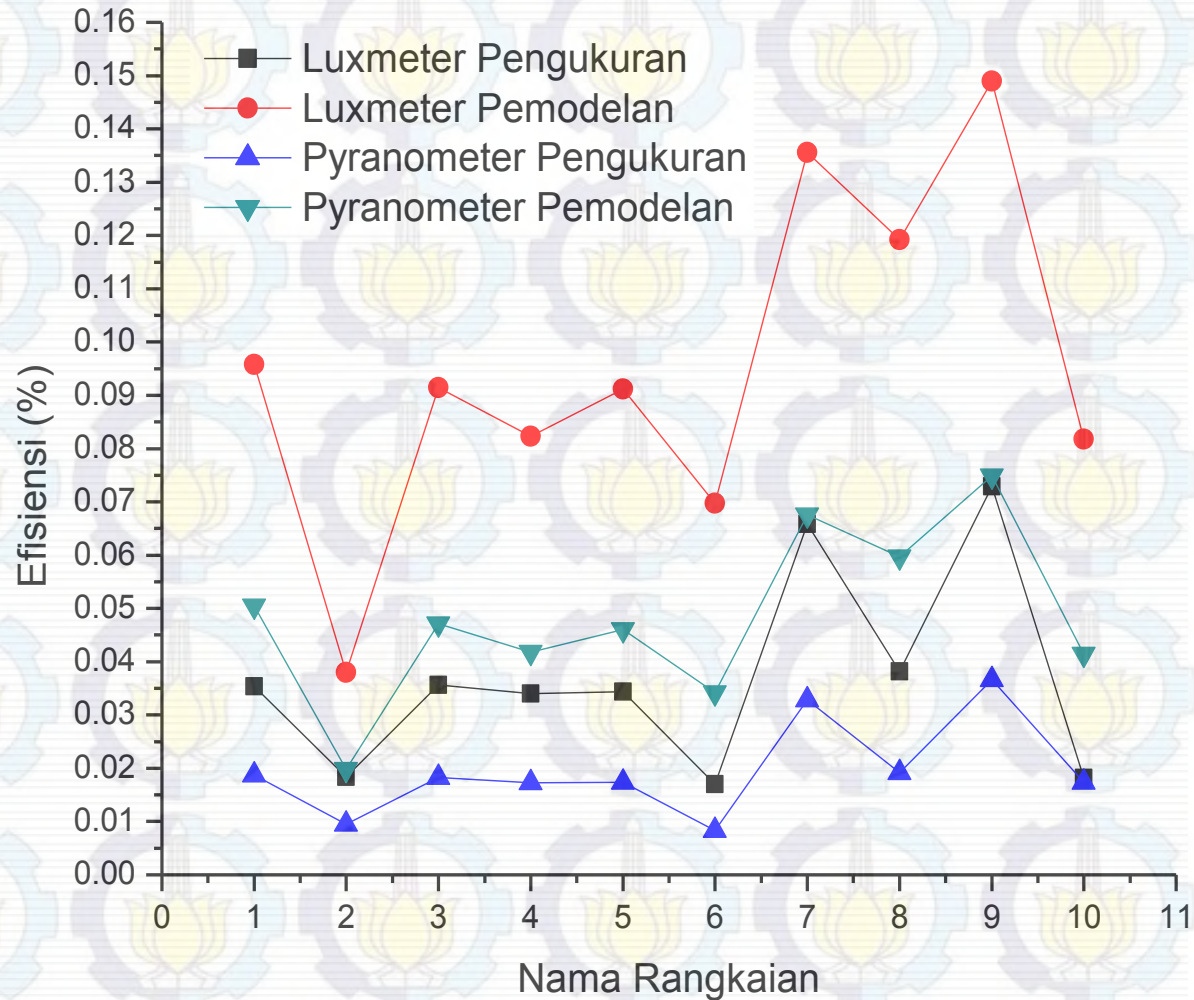


Rangkaian 9

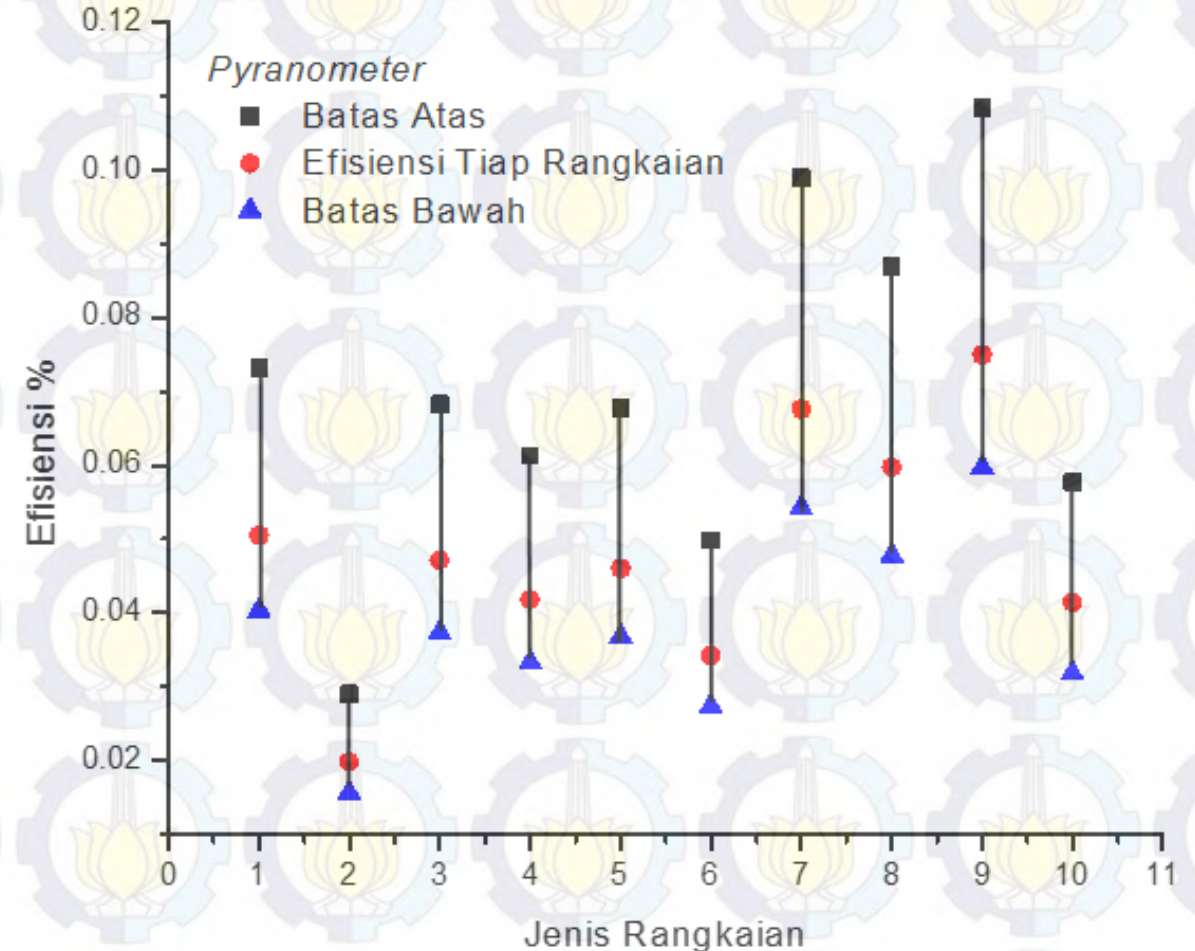
Kurva Efisiensi Setiap Rangkaian

HASIL PENGUJIAN

Efisiensi Setiap Rangkaian

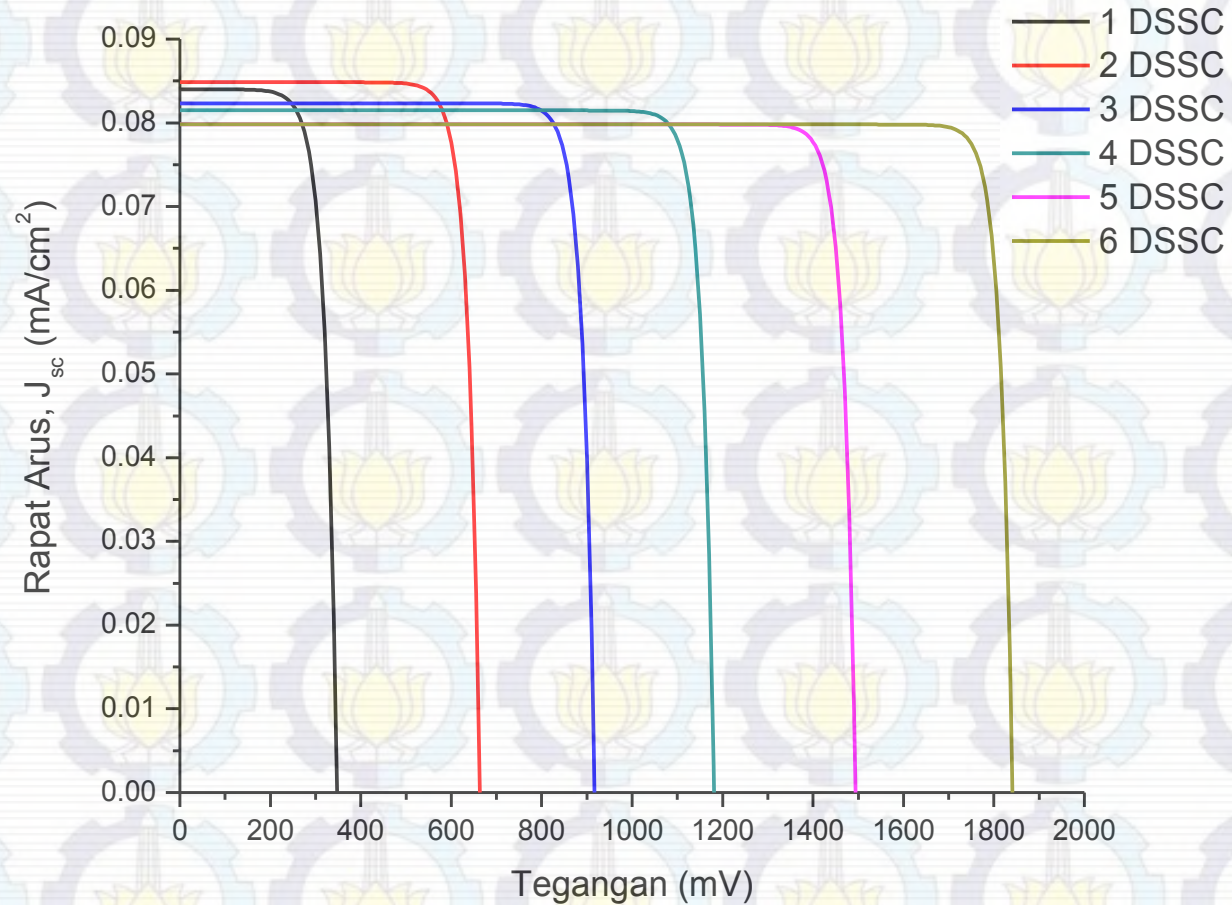


Rentang Efisiensi Setiap Rangkaian



Pengujian Arus dan Tegangan Rangkaian Seri

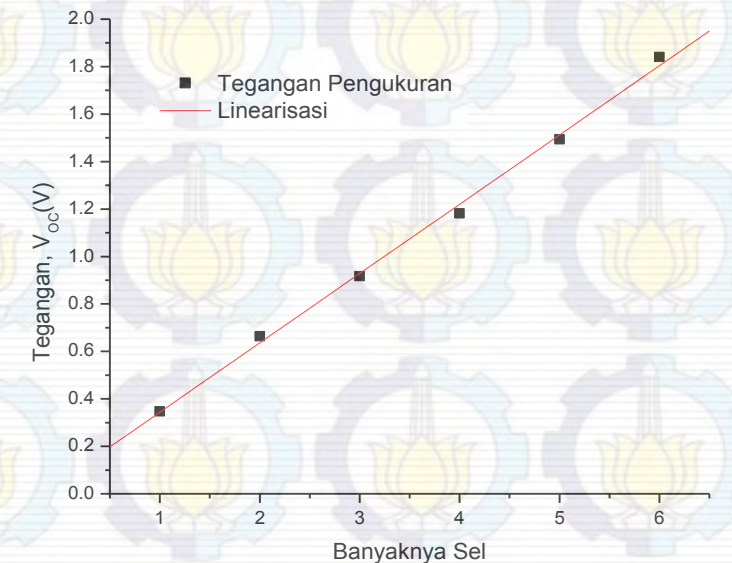
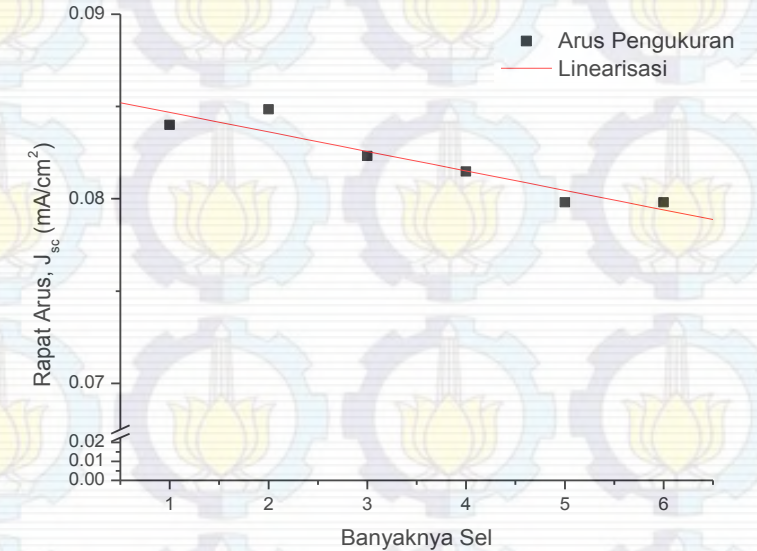
HASIL PENGUJIAN



$$V_{\text{seri}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

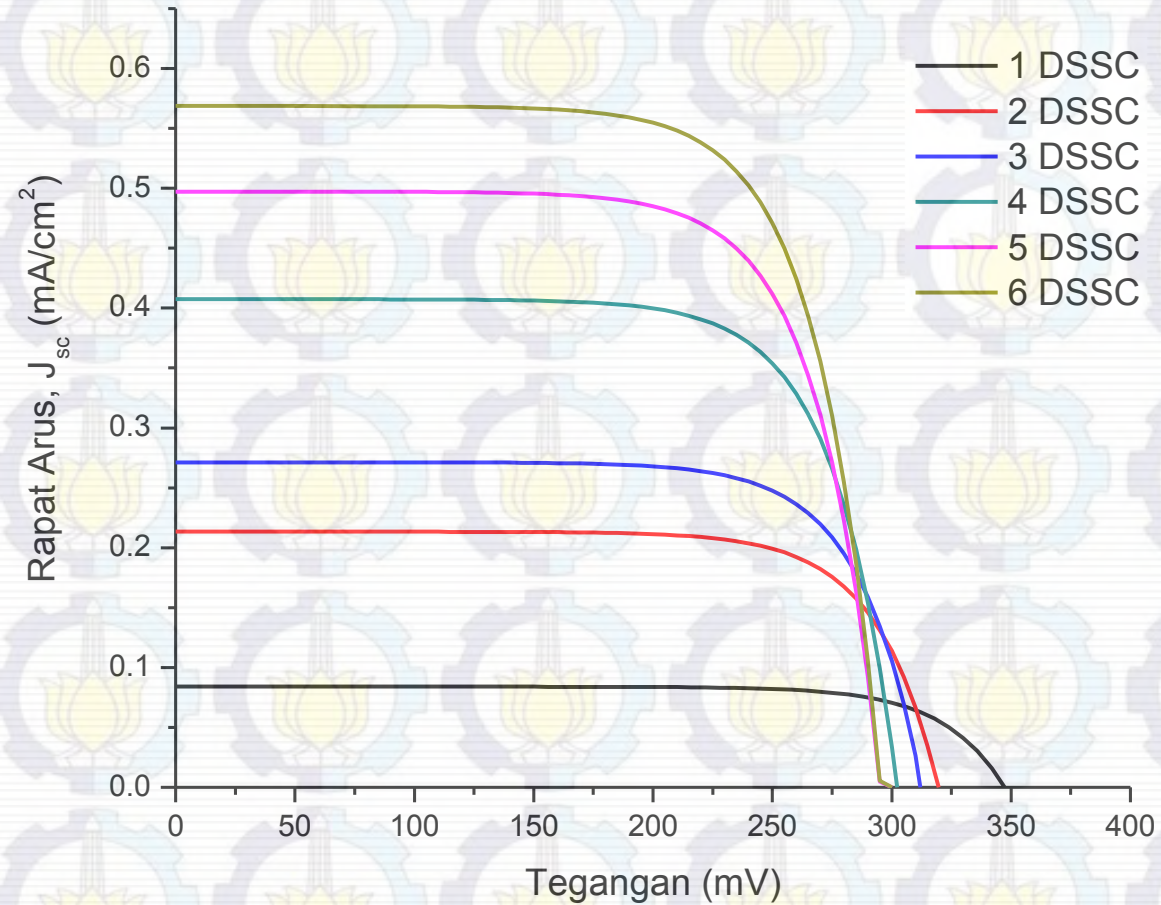
$$I_{\text{seri}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$V(n) = 0.2921n_s + 0.0516$$



Pengujian Arus dan Tegangan Rangkaian Paralel

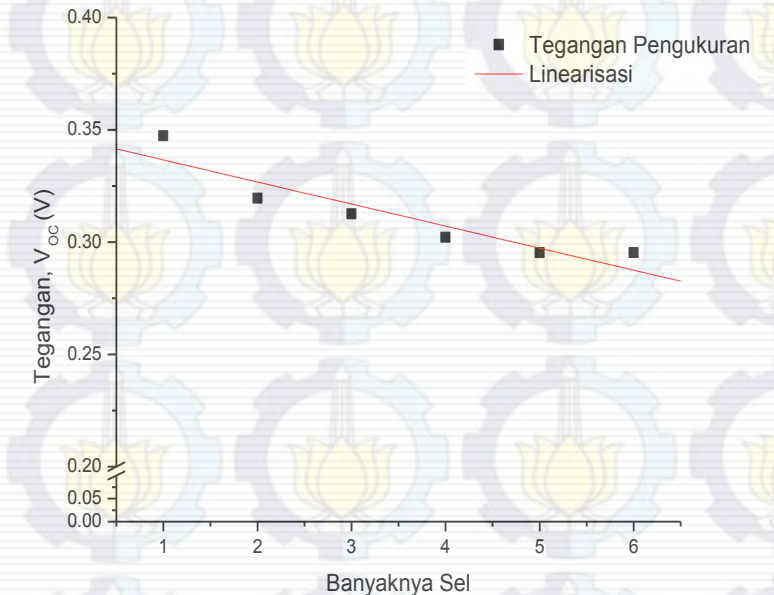
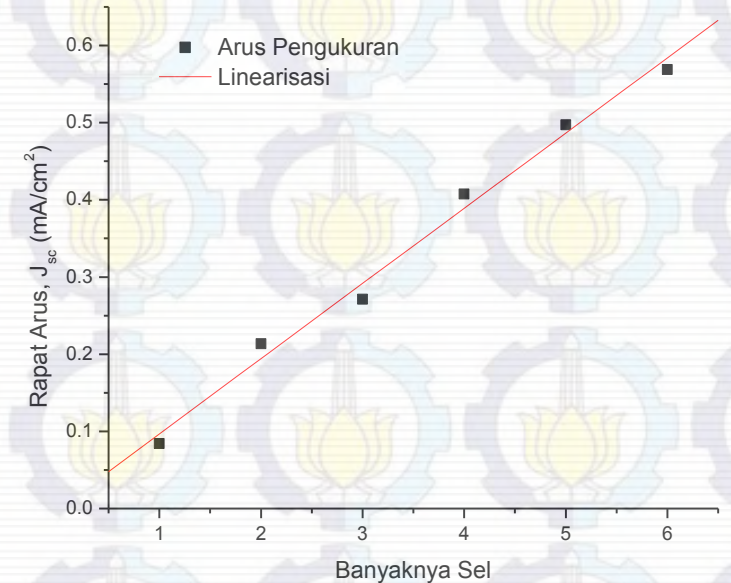
HASIL PENGUJIAN



$$I_{paralel} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$V_{paralel} = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

$$I(n) = 0.0975n_p - 0.0008$$



KESIMPULAN

- Ukuran partikel TiO_2 fase anatase yang dihasilkan melalui metode kopresipitasi adalah 5,43 nm untuk lapisan utama dan 49,26 nm untuk lapisan penghambur cahaya.
- Efisiensi DSSC yang dihasilkan berdasarkan uji arus-tegangan berada dalam rentang 0,0087% hingga 0,0327%.
- Efisiensi terbaik pada variasi rangkaian seri, paralel, dan campuran 6 DSSC adalah rangkaian 9 yakni setiap 2 sel diparalel kemudian diseri menjadi satu sebesar 0,0366%.
- DSSC yang dikonfigurasi secara simetris menunjukkan nilai efisiensi lebih tinggi dibandingkan DSSC yang dikonfigurasi secara asimetris.